

CCD/C-MOS イメージセンサー技術及び 視感度補正フィルターガラスの機能と最新動向

松浪硝子工業株式会社 光・電子材営業部

藤田 卓

The Function and Leading-edge Trend of CCD/C-MOS image Sensor Technology and Visual Compensation Filter Glass

Taku Fujita

MATSUNAMI GLASS IND., LTD.

1. はじめに

松浪硝子工業は薄膜ガラスの製造、加工をコア技術として多方面に商品展開してきた。当社のルーツを述べると概ね次の通りである。

1844年に松浪家が日本国内で薄玻璃製造を開始しているが、これをもって松浪硝子工業の創業の年としている。(参考までに中国語ではガラスのことを硝子ではなく玻璃と表現するのが一般である。)薄玻璃とは玻璃鏡の素材となるガラス材料のことである。その後、1854年には玻璃鏡の本格的な製造に着手した。玻璃鏡の製造は大阪府の泉州地域の重要な地場産業となった。しかし時代が移り変わり海外のガラス材料が多く輸入されるようになり、経営面での転換期が来ていた。

1889年より時代の要求に合った薄板ガラスについての調査・研究を重ねて1904年に顕微鏡用カバーガラスを、1905年には顕微鏡用ス

ライドガラスの製造開発に成功した。このような流れの中で電子分野での薄板ガラスの基礎を築いた。

今回のテーマに関わるイメージセンサーは撮像管に始まった古くからの技術をベースにしている。この部品が固体(シリコン)で出来るようになってから多くのエレクトロニクス商品が生まれた。家庭用ビデオカメラの実現に始まり、現在のデジタルカメラ普及のもとになったのは、シリコンイメージセンサーの開発があったからである。パーソナル通信がさまざまな形で出来るようになると、映像通信の要求が増えてくる。それと共にイメージセンサーへの要求も拡大する一方である。携帯電話もカメラ付きが一般化するに及んでイメージセンサーの性能・コストも多岐に渡るようになった。当社の“イメージセンサー用カバーガラス”についてはラインセンサー用カバーガラスが1975年頃、エリアセンサー用カバーガラスが1980年頃から生産ベースに乗ってきた。初期の頃は各センサー用としてアルミナパッケージに膨張のマッチングしたカバー材ということでサファイアが使用されていた。これについても当時、膨

張の合ったリーズナブルなガラス材がなかったため当社がアルミナシール用のカバーガラスを開発するという事になった。これが松浪製 #709 材である。

このイメージセンサーにはペアーで視感度補正フィルターを必要とする。これは近赤外カットフィルターと呼ぶものであるが、この種のガラス材料については当社の基礎技術の応用で数多くのカスタムメイド商品を世の中に出してきた。イメージセンサー用カバーガラスと共に視感度補正フィルターは画像処理技術と関連する重要な部材である。また、これらを統合して使用するという動きもある。周辺の技術/関連部材と合わせてチェックして行きたい。

2. イメージセンサーの基礎

(1) イメージセンサーには機能としてラインセンサー（ファクシミリ、コピーに使用されている）とエリアセンサーがあるが、本稿では応用範囲の広いエリアセンサー用について述べる。エリアセンサーは2次元の画像情報を電気信号に変えるものであるが、目的はその電気信号を伝送することに始まった。この伝送の方法、速度に応じられるイメージセンサーが求められる。

人間の目のしくみは網膜細胞の一つ一つの光刺激を、直接視神経を通して脳に伝えられる。細胞の数が多くても視神経の情報伝達は高速である必要はない。このしくみによって脳の情報処理の早さに合わせる事が出来る。固体素子で実現されたイメージセンサーのしくみは、レンズで投影される像面に開口を持った光電変換センサーのマトリクス・アレイ（画素）を置いて各センサーにある電気信号を「順次読み出す」センサーの数が増えれば情報量が増えるので単位時間当たりに処理または伝送しなければならない量は大きくなる。したがって情報の伝送手段は広帯域でなければならない。イメージセンサーから出力される一つの信号は処理さ

れ、ビデオ信号に変換される。テレビジョンでは決められたフォーマットに変換し電波で搬送される。一般のビデオカメラの場合ケーブル線で伝送される。ビデオ・DVDレコーダ、デジタルカメラで、さまざまな記録媒体に記録される。このとき送り出す速度はイメージセンサーの性能で決まるが、伝送や記録が出来る帯域でなければならない。CCDやC-MOS回路による固体イメージセンサーは半導体のシリコンで作られており、この光電変換と情報の読み出し機能を実現している。イメージセンサーは全てのカメラシステムに使用されているが、デバイス性能とカメラシステムの性能の関係をよく把握しておかなければならない。

(2) 撮像の基本

もう一度基本に戻るが、CCD/C-MOSカメラで被写体を撮像する場合の基本は次の通りである。図1は離陸する飛行機である。飛行機は上下、左右、遠近と3次元空間を時間の経過と共に遠ざかり小さくなる。撮像者はこれをカメラのファインダの中心に入るようにして撮像する。ピントを合わせ、絞りを合わせ、ズームで被写体の大きさを合わせ、色の調整を行なうが、これらは自動で行なわれるのが一般的である。ムービーでは図2に示すように、撮像中はフィルムが間欠的に走行していて、被写体の画像が1駒ごとに静止画像として撮像される。被写体の光学像は撮像レンズによってフィルムの感光面の位置に結像されていて、シャッターを開いて被写体像をフィルム面上に露光し、1駒分フィルムを移動させて、再びシャッターを開く。この作業の繰返しである。これを映写すると、1駒ずつ間欠的にフィルムが移動されて1画面の画像が次々に投影され連続した画像（動画）として再現される。一方、これを他のディスプレイにて映し出す場合は図3のように示される。CCD/C-MOSのような撮像デバイスで光学像を電気信号に変換し1/60sごとに取り出して行く。被写体の像は撮像レンズによって結像される。この信号は記録された



図1 離陸していく飛行機



図2 ムービーのシステム



図3 テレビジョンシステム

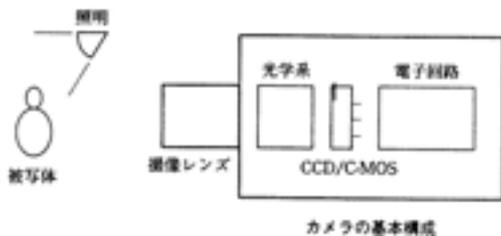


図4 撮像の基本動作

り、あるいは直接伝送されて、受信側のディスプレイに再現される。実際の撮像の基本動作は図4に示すように照明された被写体を CCD/C-MOS カメラで撮像する。このカメラは撮像レンズ、光学系、CCD/C-MOS 撮像デバイス、電子回路で編成されている。光学系は撮像レンズで取り入れた光学像を撮像デバイスで電気信号に変換しやすいように光学的処理を行なう。CCD/C-MOS カメラの技術はこれらの各要素を合わせたものである。

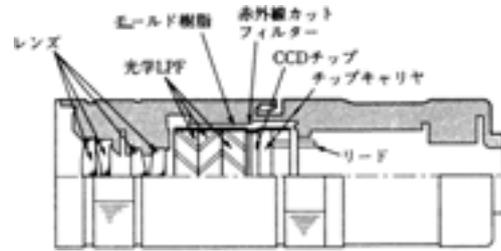


図5 マイクロカメラのヘッド部

(3) マイクロカメラ

マイクロカメラが製品化されたのは1987年であるが、それまでのカメラの概念を一新するもので大きな話題になった。図5はマイクロカメラのヘッド部を示したもので、撮像レンズ、光学LPF（ローパスフィルター）、近赤外カットフィルター、小型CCD、高密度実装基板といった撮像に必要な機能が全て含まれ、円筒状の筐体（鏡筒）に収められている。指先に摘んで簡単に画像が撮れ、放送局ではニュースキャスターがマイクロカメラを実物に近づけて説明しながら、画像を撮像するといった使い方から、スポーツの中で身近な部分に取り付けて迫力ある画面を映すことも簡単に行なえるようになった。この技術を更に進化・小型化させたものがカメラ付き携帯電話用となる。

(4) 携帯電話用カメラモジュール

携帯電話用カメラモジュールは図6のような構造であり、マイクロカメラを大幅に小型化・薄型化させている。ガラスに係わるキーデバイスとして CCD/C-MOS イメージセンサー、視感度補正用近赤外カットフィルター、プラスチックレンズ使用の場合に必要な保護カバーといったものがあるが、特に前者の2点については材料の極薄化が絶対条件である。その為にイメージセンサーと近赤外カットフィルターの一体化、保護カバーと近赤外カットフィルターの一体化といったアイデアが実際に採用されつつある。

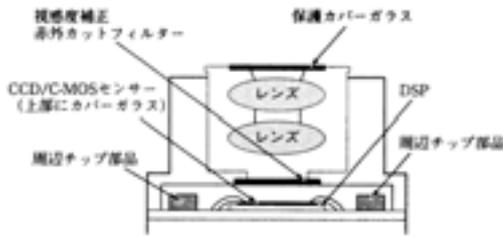


図6 携帯電話用 CCD/C-MOS イメージセンサーモジュール

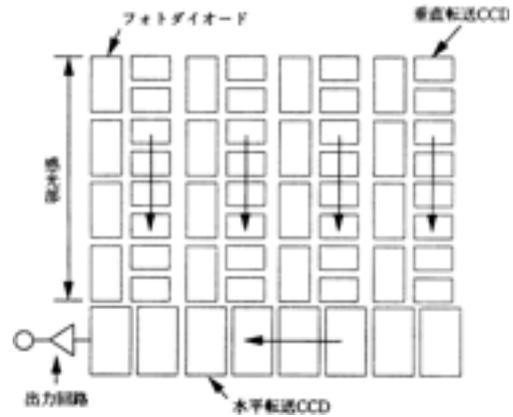


図7 IT-CCD

3. CCD/C-MOS イメージセンサー

(1) CCD (Charge Coupled Device) 撮像デバイス

実用化されている CCD 撮像デバイスは次のようなものである。水平 4 画素×垂直 4 画素、合計で 16 画素が基本であり、この 4×4 の繰り返しで画素が多数配置されることになる。図 7 は IT-CCD (Interline Transfer CCD) の構成を示したものである。縦長の四角がフォトダイオード、横長の四角が垂直転送 CCD の電極を示している。各列のフォトダイオードの間にはそれぞれ垂直転送 CCD が配列され、最後の行の垂直転送 CCD に隣接して水平転送 CCD が 1 本設けられている。撮像レンズによって、この表面に被写体の光学像が結像されると各フォトダイオードでは光電変換が行われ、光の強さと時間に応じて電荷が蓄積されていく。

このようにして電荷像ができる。フィルムが感光すると化学反応で潜像ができるのと同じである。この電荷像を走査により 1 次元の電気信号として外部に取り出すのが、CCD では縦横に順次、信号を転送して行き、1 個の信号出力端子から信号を取出すように工夫されている。この役目をするのが CCD 転送部である。まず、16 画素のフォトダイオードに蓄積された信号電荷はフィールドシフトパルスにより、一斉に垂直 CCD の一部に転送される。次に 4 列の垂直転送 CCD が並列垂直方向に電荷を転送し始める。垂直に転送された信号電荷は水平転送

CCD に次々に送り込まれる。1 行分、4 画素の信号が入るたびに、水平転送 CCD は素早く信号を水平方向に転送し、左端に設けられた出力回路を通して信号を出力する。

このようにして 1 ラインずつの信号が出力端子から得られる。このように IT-CCD 撮像デバイスでは左下のフォトダイオードから右方向に順次信号電荷が読み出されて行く。1 行の信号が読み出されると次にその上の行に移り、順番に移動して全画素、1 画面の信号が読み出されて行く。その他、用途により各種の改善が試みられているが、この方式は概ね、CCD 撮像デバイスの基本となるものである。

(2) C-MOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 撮像デバイス

C-MOS 撮像デバイスの基本は次の通りである。

図 8 のように、フォトダイオードと MOS トランジスタスイッチの組合わせで感光部の画素が形成される。各画素は水平、垂直のシフトレジスタと接続されていて、印加されるパルスによって順番にスイッチされて、各画素の信号電荷が出力に取出されて行く。光が入射するとフォトダイオードで光電変換され、光の強弱に応じた信号電荷が時間と共に蓄積されて行く。(ここまでは IT-CCD と同様である。) 走査については、まず垂直のシフトレジスタにより垂直方

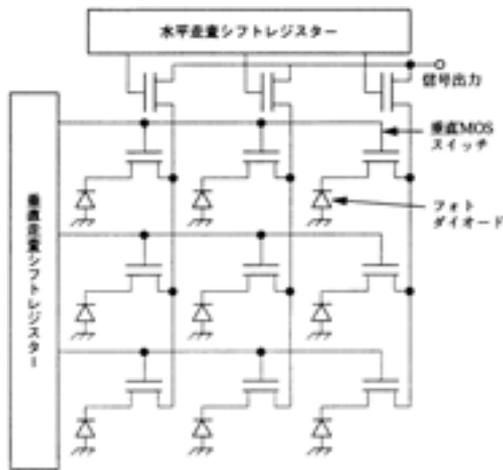


図8 C-MOS 撮像デバイスの基本

向の画素の1つ、水平1ラインが選択される。次に水平シフトレジスタにより、連続してパルスが順次加えられ、水平方向に左から右へ各画素がスイッチングされ、蓄積された信号電荷が出力に読み出されて行く。

1ラインの信号が読み終わると、垂直シフトレジスタからのパルスが次の水平ラインに印加され、再びこのラインの水平走査が開始される。このようにして順次、水平、垂直の走査が行われ全画素の信号が出力端子に読み出される。出力信号線を2本または3本にして信号を独立に読み出すこともできる。1回の読み出しで信号電荷がなくなる。非破壊読み出しが可能であるといったメリットがある。C-MOS デバイスの場合、CCD に比べて仕組みが簡単で駆動電圧が低く、消費電力を押さえやすい。画像の読み出しが早い。専用の製造ラインを必要とせず、C-MOS メモリーの製造ラインを使えることにより、低コスト化が図れる。周辺回路とのワンチップ化による小型化が図れるというメリットを持つ。また、CCD に比べて放射線に強いというメリットもある。CCD が撮像デバイス市場の大半を占めていた時代でも耐放射線といった部分に着目され欧米を中心に根強く開発され続けたのである。C-MOS 技術が

欠点であった画素ごとのトランジスタの出力バラツキであるとか、不要な電流によるノイズの発生しやすさといった問題点の解決が進んで行く中で1999年から2000年にかけて大きくブレイクしたのは光学用マウスの登場であった。ただ、この辺はハイエンドな商品群とは言い難い。

その後、急速にC-MOSの性能が向上し国内メーカーもCCDと平行してC-MOSに取り組むようになってきた。(高画素品をC-MOS主体に商品化しているメーカーもある。)

(3) CCD/C-MOS カバーガラスに求められる品質

カメラ付き携帯電話のカメラ部分は一般のデジタルカメラに迫る勢いで11万画素から31万画素、更には100万画素以上の機種が生まれてきた。200万画素対応などメガピクセル時代に突入しようとしている。CCDとC-MOSについては、もはや方式による優劣は無く、個別製品開発力が優位性を決めるようになってきた。

1980年代のCCDでは20万画素(480V×400H、垂直480画素、水平400画素)が一般的であり、1画素の大きさも $13\mu\text{m} \times 22\mu\text{m}$ 程度もあったが、最近では $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 以下がごく普通になってきている。外観欠点もこれに対応したレベルの要求となるため、クリーン化は重要な要素である。携帯電話に採用されるイメージセンサーの小型化・薄型化が当然進んでおり、カバーガラスは約7mm角で $t0.3\text{mm}$ 程度に仕上げなければならない。しかもガラスの端面は糸面取りが必要である。

(4) CSP (チップサイズパッケージ)

Shellcase社(1993年にイスラエル〈本社:エルサレム〉にて設立)は昨今需要が高まりつつあるデジタル製品用の半導体デバイスやテレコムインフラ市場に向けて、斬新なウエハーレベルチップのパッケージングソリューションを世界規模で提供するようになった。その製造プロセスは図9のようなものである。

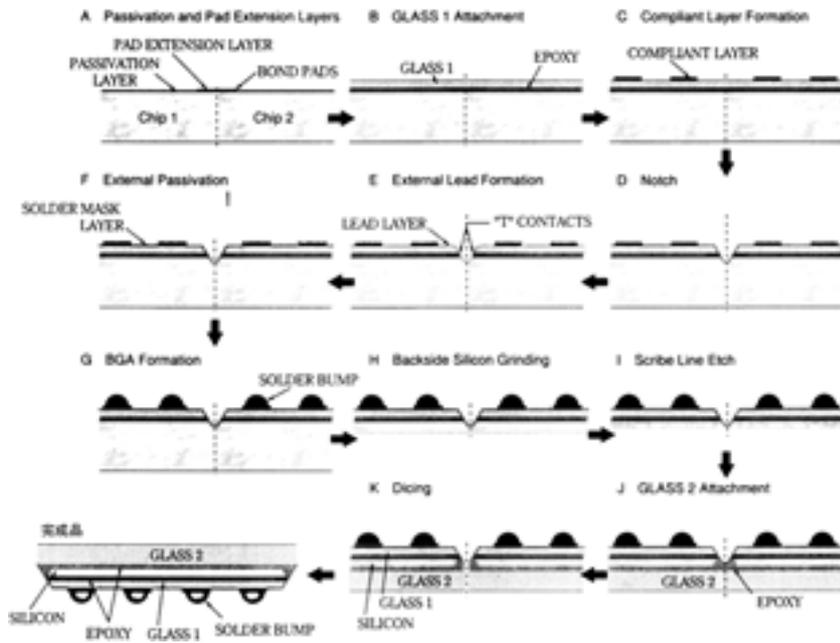


図9 CSP製造プロセス (Shell BGA)

表1 標準組成例

(単位: wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO
硼珪酸ガラスA	50.4	12.1	23.7	13.2	—	—	—
硼珪酸ガラスB	64.2	3.0	3.1	8.9	7.2	6.4	7.1

A. 表面処理→B. ガラス1の取付け→C. レイヤーの形成→D. 切り目を入れる→E. 外部リード形成→F. 外部パシベーション→G. BGA形成→H. バックサイドシリコンの研磨→I. スクライブラインをエッチング→J. ガラス2を取付け→K. ダイシング切断

CSPの技術については、2001年には台湾のメーカーに、更に2002年には日本で導入するメーカーも現れるようになった。このパッケージはガラス/シリコン/ガラスのサンドイッチ構造となっている。トータルの厚みは、ShellOPタイプで約0.7mm、ShellBGAタイプで約0.4mmとなっている。この方式が成功した大きな要因として、シリコンと膨張の合った薄膜ガラ

ス別表1~3の硼珪酸ガラスAの存在があったことが上げられる。

これらはダウンドロー法で製板されている薄板ガラスである。また、最近では使用される薄膜ガラスと近赤外カットフィルターを一体化しようとする試みがなされている。早い時期に量産化に移行して行くと予想する。

4. 視感度補正用近赤外カットフィルターガラス

CCD/C-MOSといった撮像デバイスの分光光度は可視域から近赤外域まで伸びているため、この近赤外域をフィルターによりカット

表2 機械的・電氣的・光学的特性

	硼硅酸ガラスA	硼硅酸ガラスB
20℃ (68° F) における比重 (g/cm ³)	2.72	2.51
応力-光学係数C (m ² /N)	3.2×1.02×10 ⁻¹²	3.44×1.02×10 ⁻¹²
ヤング率E (kN/mm ²)	66.0	72.9
ねじれ率G (kN/mm ²)	26.7	30.1
ポアソン比 (μm)	0.235	0.208
モース硬度 (NK ₁₀₀)	555	590
誘電率 (1 MHz) ε _r	6.2	6.7
誘電損失 (1 MHz) tan δ	99×10 ⁻⁴	61×10 ⁻⁴
A.C.50Hzでの電気抵抗 (Ωcm)		
ρ _D (θ=250℃)	6.0×10 ¹³	1.6×10 ⁸
ρ _D (θ=350℃)	3.2×10 ¹³	3.5×10 ⁴
光学的特性		
20℃における屈折率		
n _d (λ=588nm)	1.5255	1.5230
n _v (λ=546nm)	1.5275	1.5255
アッペ数 (ν _d)	62.2	55.0

表3 温度特性

粘性 log η (dPas)	温度 (℃)		特性
	硼硅酸ガラスA	硼硅酸ガラスB	
14.5	627	529	変点
13.0	663	557	徐冷点
7.6	883	736	軟化点
平均線膨張係数 α _{20-300℃}	45×10 ⁻⁷ /℃	72×10 ⁻⁷ /℃	

し、分光感度を人の視感度に近づけてやらなければ画像が赤みを帯び、良好な画像再現を得ることが出来ない。また、一方でフィルターの紫外側の吸収が可視域まで及ぶと、今度は画像が暗くなる。よってこの種のフィルターは400～520 nm の波長の透過率を出来るだけ高くして、550～950 nm 部は極力カットしておく必要がある。

吸収フィルター〈着色〉ガラスタイプとしては、CuO を着色のベースとした材料が一般的である。この吸収フィルターはリン酸塩を併用することが一般的であり、また AIF₃ 等のフッ化物を加えて耐湿性をアップさせるものも多く見られた。しかしフッ化物添加は材料の加工性・洗浄性を難しくさせる要因になるだけでなく薄型になると強度的に弱くなるという欠点を生じさせた。

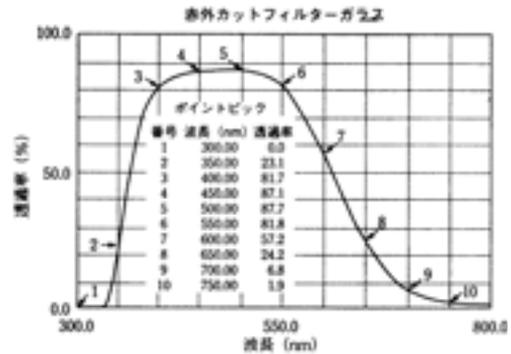


図10 実績例：BS7-t0.5

これらをクリアしたものとして松浪硝子工業の各種材料がある。(図10) なお基本的に当社の吸収フィルターは各ユーザーのカスタム仕様に準じた対応を行っており、10日間で新規素材の供給までこぎつけるということも必要

に応じて実施しているのが現状である。

反射フィルター〈蒸着〉タイプの場合は30層以上のコーティングになり、コート自体は高価であるが小サイズ化によりコストダウンが図られている。しかし反射フィルタータイプについては、方向依存性を有するため、高精細タイプについては限界がある。高品位な画像を要求する機種に対しては吸収フィルターがメインとして採用されて行くかと判断する。また更に薄型対応の材料の必要性が生ずるが、研磨加工等における極薄ガラスの量産加工技術の確立もポイントとなる。

CCDでは画素が離散的に2次元に配置され、その上に、撮像レンズで被写体の光学像が結像される。したがって、光学像は連続的な画像であるが、光電変換される際にサンプリングが行なわれる。そこで、画素ピッチ以上の高周波の光学像が入ると折り返しひずみが生じることになる。被写体の信号成分にこの折り返し成分が混入するとモアレとなって、画面に現れ、画質を低下させる。

このモアレは光電変換の時点ですべて入ってくるから、除去するには光学LPF (low pass filter) として水晶板を使用するという選択肢がある。但し現在のところ、200万画素レベルのカメラ付き携帯電話においても水晶板は採用されていない。また、デジタルスチルカメラ用についても(光学水晶については国内以外でも量産されるようになり大幅に価格低下しているが、価格の問題よりむしろ製造方法に起因する垂直立ち上げ〈数量の急増〉に追従することの難しさのため、水晶を使用しない方式での設計を目指す流れがある。この辺は今後の技術動向を見極めて行く必要がある。

5. ま と め

CCD/C-MOS イメージセンサーと深く関連している視感度補正フィルターについて、初期の市場形成時には近赤外吸収フィルターを水晶

でサンドイッチしたローパスフィルターの中に組込む形がメインであった。近赤外吸収フィルターについては、耐湿性を向上させると共に屈折率を水晶に近づけ光の損失を極力抑えるという発想で設計していた。

その後、デジタルスチルカメラ用として水晶に近赤外カットコートというパターンの部材が多く見られるようになった。一方、カメラ付の携帯電話については水晶を使用せず、近赤外カットコート品のみ使用するタイプがメインで使いこなされてきた。カメラ付き携帯電話の画素数がアップする方向に推移し、一般のデジタルスチルカメラに近づくと、デジタルスチルカメラは更なる画素数アップをめざす方向に拍車がかかってきた。

そのような中で方向依存性の影響が少ない近赤外吸収フィルターの存在がクローズアップされ、このタイプが徐々に拡大しようとしている。また、単体使いされることが多くなってきたため水晶と屈折率を合わせる必要性はなくなり(実際には、ローパスフィルターの場合に屈折率の寄与する割合は極軽微であり屈折率にこだわる必要性はあまりなかった)、高屈折の近赤外カットフィルターが好まれる傾向にある。この辺は単層ARコート処理でマルチARコートの特性確保が出来るといった利点があることもプラスとなっている。また、ハイエンド機種については吸収フィルターに近赤外カットコートを組合わせてシャープカットの吸収フィルターを追及するといった動きもある。

ワールドワイドに見ても益々拡大を続けると予想されるこれらの市場の中で、より高品質な製品の実現のための貢献が出来るよう今後とも対応して行く。

参 考 文 献

- 1) 安藤哲雄:「CCD/CMOS イメージセンサーの基礎技術」EDリサーチ社.
- 2) 竹村裕夫:「CCDカメラ技術入門」(株)コロナ社.
- 3) ShellCase:「Wafer Level Packaging」.